

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Vibrodiagnostika soustruhu SV18R

Vibrodiagnostics of lathe SV18R

Student:

Petr Štrohalm

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Štrohalm**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Vibrodiagnostika soustruhu SV18R**
Vibrodiagnostics of Lathe SV18R

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce vhodně aplikujte metody technické diagnostiky pro diagnostiku soustruhů SV18R se zaměřením na vibrodiagnostiku. Pro aplikaci vibrodiagnostiky vhodně zvolte měřicí místa, aplikujte patřičné metody pro odhalení technického stavu soustruhu. Získaná data analyzujte a proveďte patřičné vyhodnocení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, 2007.48 s.

HELEBRANT, F., ZIEGLER, J., MARASOVÁ, D. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6.

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN 20 0065 *Metody měření a hodnocení mechanického kmitání-Mezní hodnoty kmitání*. Praha: Český normalizační institut, červen 1992. 16 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Štrohalm

Adresa trvalého pobytu autora práce: U Opavice 4, 74601 Opava

Anotace

ŠTROHALM, P. *Vibrodiagnostika soustruhu SV18R: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2015, 45 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Tato práce se zabývá vibrodiagnostikou soustruhu SV18R, které jsem, spolu s jinými soustruhy, dostal k dispozici v dílnách Střední školy průmyslové a umělecké v Opavě. Na těchto strojích bude provedena vibrodiagnostika hnacích a převodových zařízení a uložení vřetene. U jednotlivých strojů bude zhodnocen stav a velikost opotřebení. Výsledky jednotlivých strojů budou vyhodnoceny a porovnány.

Annotation

Štrohalm, P. *Vibrodiagnostics of lathe SV18R: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of mechanical engineering, 2015, 45 p. Thesis head: Blata, J.

This work deals with the vibrodiagnostics SV18R lathe, that I, along with other lathes, got available in the workshops of artistic and industrial high school in Opava. On these machines will be perform vibrodiagnostics on the driving equipment, gear equipment and equipment to save spindle. For each of the machines, I will evaluate the condition and size of the wear and tear of the equipment mentioned. The results of the individual machines will be evaluated and compared.

Rád bych na tomto místě poděkoval panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D., přátelům, rodině a všem, kteří poskytli vstřícnou pomoc a cenné rady, bez kterých by tato práce nevznikla.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Úvod	10
1. Popis zařízení	10
2. Technická diagnostika.....	12
2.1 Vibrodiagnostika	13
2.2 Akcelerometry – druhy, princip a montáž	16
3. Získání, zpracování a vyhodnocení naměřených dat	18
3.1 Měření a vyhodnocení vibrodiagnostiky.....	20
3.1.1 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 1 – SV18R.....	21
3.1.2 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 2 – SN20A1000	28
3.1.3 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 4 – SN20A1000	33
3.1.4 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 6 – SV18R.....	35
3.1.5 Grafické porovnání stroje č. 1	37
3.2 Porovnání trendů v jednotlivých místech	39
4. Závěr.....	42
Reference.....	43
Seznam obrázků	44
Seznam tabulek	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

a	- zrychlení vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$]
A_{max}	- maximální zrychlení vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-2}$]
\cos	- goniometrická funkce kosinus
ČSN	- česká státní norma
dt	- derivace času
dv	- derivace rychlosti
dx	- derivace okamžité výchylky vibrací
d^2x	- derivace okamžité výchylky vibrací druhého řádu
f	- frekvence [Hz]
ISO	- International Standard Organization
RMS	- efektivní hodnota (Root Mean Square)
\sin	- goniometrická funkce sinus
SŠPU	- Střední škola průmyslová a umělecká v Opavě
t	- čas [s]
T	- časová perioda [s]
v	- rychlost vibrací [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
V_{max}	- maximální rychlost vibrací [mm/s^{-1}]
x	- okamžitá výchylka vibrací [mm]
x_{max}	- maximální výchylka vibrací
x_{ave}	- průměrná hodnota výchylky vibrací
x_{RMS}	- efektivní hodnota výchylky vibrací
π	- Ludolfovo číslo
ω	- úhlová rychlost [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$]

Úvod

Cílem této bakalářské práce je vyhodnotit stav a velikost opotřebení strojních zařízení (soustruhů) na dílnách Střední školy průmyslové a umělecké v Opavě, kde jsem studoval, a na kterých jsem během studia pracoval. Tyto stroje jsou již desítky let staré, ale poměrně málo používané. Volil jsem tedy pouze jedno měření, jelikož se mírou používání jejich technický stav téměř nemění. U prvního stroje jsem volil druhé měření pro určení a porovnání opotřebení po uplynutí sedmi měsíců.

Bylo provedeno měření vibračním analyzátozem ve třech hlavní osách (vertikální, horizontální a axiální), pro získání dat s velikostmi rychlostí a zrychlení vibrací. Jelikož jsou stroje staré a nelze se tudíž spoléhat na uvedený počet otáček jednotlivých převodových stupňů, byl použit také laserový snímač otáček pro jejich upřesnění (obr. 11). Ze získaných dat budou do tabulek vyhodnoceny rychlosti a zrychlení vibrací jednotlivých strojů. Dále také technický stav, velikost opotřebení a možné příčiny jejich vzniku.

1. Popis zařízení

Soustruhy jsou jedny z nejdůležitějších obráběcích strojů a nejvíce jsou používány ve strojírenství. Existuje mnoho druhů soustruhů, které se dělí podle ovládání na manuální a automatické (CNC).

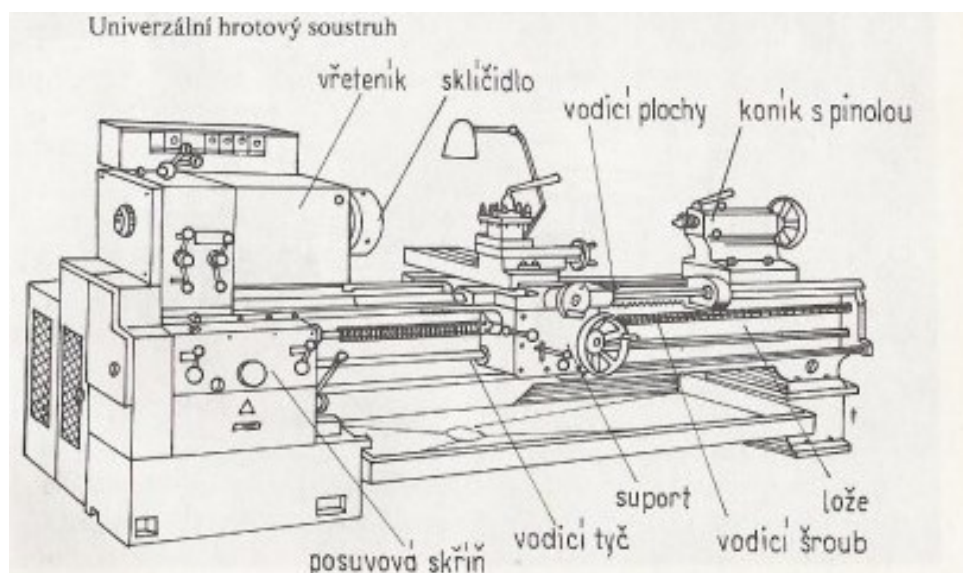
Manuální soustruhy ovládá pracovník jednotlivými ovládacími prvky a jsou používány v kusové nebo malosériové výrobě.

Automatické soustruhy jsou řízeny počítači a vyznačují se zpravidla samočinným chodem a opakováním obráběcího cyklu po dokončení každé součásti. Jsou používány v hromadné a sériové výrobě. Dále je dělíme podle konstrukce na hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální.

Slouží k obrábění rotačních součástí. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho obrobek (upnutý na sklíčidle a poháněn vřeteníkem), vedlejším řezným pohybem je posuv a přísuv, který koná zpravidla pevný nástroj (soustružnický nůž, upnutý v nožové hlavě).

Popis a funkce hlavních částí stroje (obr. 1):

- Lože: Umožňuje odvod třísek do zachytné vany, zachycuje řezné a upínací síly.
- Vřeteník: Obsahuje duté vřeteno, které zachycuje axiální a radiální síly při obrábění, musí být chlazeno a mazáno.
- Koník: Posuvné litinové těleso s pinolou pro upnutí hrotů či vrtáků.
- Sklíčidlo: Slouží k upnutí obrobku.
- Vodící plochy: Většinou nesymetrického prizmatického tvaru s nutností ručního čištění a mazání.
- Support: Zařízení pro příčný a podélný posuv, pohybuje se pomocí vodící tyče nebo vodícího šroubu. Je zde upevněna nožová hlava pro upínání nástrojů.
- Vodící tyč: Vytváří podélný a příčný posuv.
- Vodící šroub: Vytváří podélný posuv pouze pro řezání závitů.
- Posuvová skříň: Obsahuje převody pro regulaci rychlosti posuvů a přísuvů.
- Převodovka: Obsahuje výměnná ozubená, umožňuje změnu otáček.



Obr. 1 - Hlavní části univerzálního hrotového soustruhu [5]

2. Technická diagnostika

V době, kdy se rozvíjel strojný průmysl, se příčiny a důsledky poruch strojních zařízení řešili až po havárii. Tento systém údržby a oprav byl velmi nákladný a časově náročný. Velkou potřebou bylo vyhodnotit poruchy ještě před havárií. Výsledkem bylo zavedení technické diagnostiky, která tyto problémy a závady dokázala odhalit s včasným předstihem.

Pod pojmem technická diagnostika si můžeme představit soubor úkonů (činností), kterými monitorujeme důležitá stojní zařízení. Dle [1] zahrnujeme zde tři základní termíny, kterými jsou preventivnost (snaha o ochranu zařízení), proaktivnost (snaha o aktivní předcházení vzniku poruchy) a prediktivnost (snaha odhadovat budoucí stav zařízení).

Technická diagnostika je nezbytnou součástí pro včasné zjištění vzniku poruch a havárií strojních zařízení a zabezpečuje jim efektivní a ekonomický provoz. Správným a včasným použitím metod technické diagnostiky můžeme určit a vyhodnotit vznikající závadu na strojním zařízení, což nám dovoluje naplánovat opravy a úkony s ní spojené v efektivním časovém intervalu. Tímto postupem dle [3] zajistíme, že nedojde k haváriím a poruchám způsobeným nedostatečnou údržbou nebo nedodržováním intervalů pravidelné údržby.

Pokud je zařízení sledováno v pravidelných intervalech, můžeme také určit přibližnou dobu zbývajcího bezpečného provozu. Nejvyšší jistotu získáváme při trvalém sledování vybraného strojního zařízení.

Výhody, které zajišťuje technická diagnostika:

- Prodloužit životnost strojních zařízení. → Využití maximálního potenciálu stroje.
- Zvýšení spolehlivosti strojního zařízení. → Minimální výpadky stroje.
- Předvídat poruchy a plánovat odstávky. → Menší náklady na servis a součástky.
- Snížení mechanických ztrát (tření, teplo,...). → Menší náklady na energie.

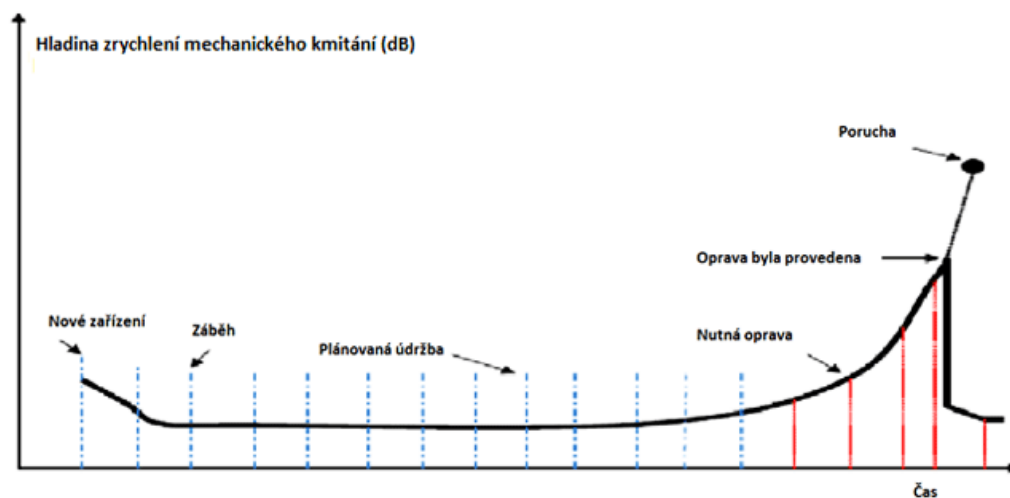
2.1 Vibrodiagnostika

Je jednou z nejvyužívanějších metod technické diagnostiky. Pro vyhodnocení stavu strojního zařízení využívá vibrační signál, který se dále upravuje, zpracovává a analyzuje. Z tohoto vibračního signálu využíváme rychlost, zrychlení nebo výchylku vibrací.

Vibrace je možno měřit mnoha různými metodami, kdy z jedné metody dostaneme více informací o stavu stroje než z jiné a naopak. Nejčastěji používanou metodou je měření celkové hodnoty vibrací. Zpravidla se zde zajímáme o měření efektivní rychlosti vibrací v určitém rozsahu. Porovnáme naměřené hodnoty s hodnotami uváděnými v normách.

Používá se také metoda trendování, kdy hodnoty naměřené v pravidelných časových intervalech uchováváme a vytváříme z nich tzv. Vanovou křivku (obr. 2). Jde o křivku vzniklou vkládáním informací o velikosti vibrací na osu popisující časové období získávání dat. Dle [2] z této křivky zjišťujeme rychlost vývoje změn ve velikostech vibrací. To nám umožňuje zhodnotit naléhavost odstávky a servisního zásahu.

S vyššími hodnotami se setkáváme při záběhu stroje, kdy dochází ke zvýšenému opotřebením vlivem vzájemného přizpůsobení třecích ploch. Další oblastí je doba provozu, kdy se velikosti vibrací téměř nemění a je aplikovaná pravidelná údržba. V poslední oblasti se dle [4] velikost vibrací zvyšuje. Z toho vyplývá, že některá součást již není zcela v pořádku a bude zapotřebí ji opravit nebo vyměnit.

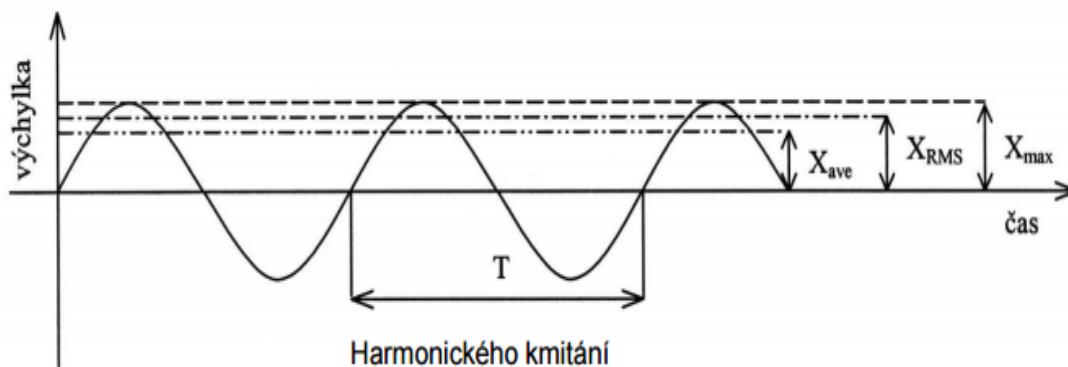


Obr. 2 - Vanová křivka [1]

Pokud zjistíme, že vibrace přesahují povolenou hranici, je zapotřebí vyhodnotit a lokalizovat případnou závadu na zařízení. Používáme k tomu spektrální analýzu, kde k peakům (špičkám) amplitud přiřazujeme frekvenční složky poruch s danou frekvencí.

Z pravidla jde o tyto závady:

- Pokud na rotoru chybí hmota, můžeme mluvit o nevyváženosti, která se projevuje na rotorové frekvenci
- Na jednom, dvoj a trojnásobku rotorové frekvence se projevuje nesouosost hřídelů (osy nejsou totožné, jsou špatně ustavené)
- Na frekvencích 50 Hz a 100 Hz se objevují poruchy elektrické sítě (nesymetrie magnetického pole,...)
- Mnoha násobky rotorové frekvence odkazují na uvolněné části rotujících zařízení (praskliny na rámu stroje, volné součásti rotoru, povolené šrouby konstrukce)
- Počet zubů * počet otáček = zubová frekvence (problém na daném převodovém soukolí)
- Poruchové frekvence ložisek (v závislosti na otáčkách hřídele)



Obr. 3 - Graf mechanického kmitání [2]

Okamžitá výchylka:

$$x = X_{max} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = X_{max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = X_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \text{ [mm]} \quad (2.1)$$

Frekvence kmitání:

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

Střední absolutní hodnota:

$$X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \quad (2.3)$$

Střední kvadratická hodnota:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt} \quad (2.4)$$

$$X_{RMS} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot X_{ave} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{max} \cong 0,7071 \cdot X_{max} \quad (2.5)$$

Hodnota RMS je nositelem informace o výkonu kmitání.

Rychlost vibrací:

$$\begin{aligned} v &= \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = \\ &= V_{max} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) [mm \cdot s^{-1}] \end{aligned} \quad (2.6)$$

Zrychlení vibrací:

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -A_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = \\ &= A_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi) [mm \cdot s^{-2}] \end{aligned} \quad (2.7)$$

Peak (špička) – vzdálenost mezi nulovou úrovní signálu a vrcholem amplitudy. (X_{max})

Peak to Peak – vzdálenost mezi nejnižším a nejvyšším vrcholem vlny. ($2 \cdot X_{max}$)

Průměrná hodnota (average) – jelikož sinusový průběh není ideální, je průměrná hodnota nenulová a odpovídá hodnotě. ($0,637 \cdot X_{max}$)

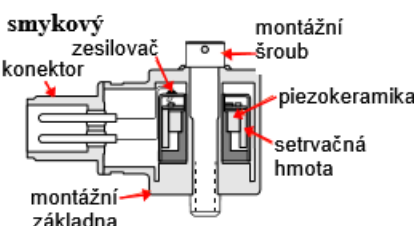
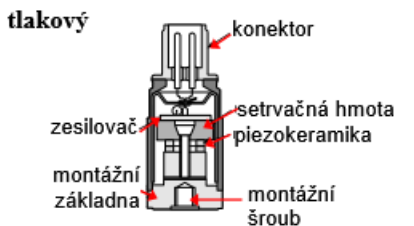
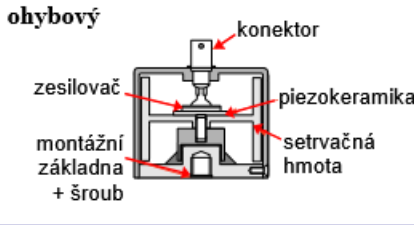
Celkové vibrace (overall) – toto číslo představuje množství energie, která je obsažena v pásmu mezi dvěma frekvencemi.

Pro měření mechanické výchylky (vibrací) slouží snímače vibrací. Snímače tyto výchylky převádí na elektrickou veličinu, kterou dále zesilují a zpracovávají. Existuje mnoho druhů vibračních snímačů pro použití v rozdílných podmínkách. Mohou se také lišit svou přesností, citlivostí, rozsahy měřících frekvencí, cenou a dalšími parametry.

2.2 Akcelerometry – druhy, princip a montáž

Akcelerometry fungují na principu deformace piezoelektrické keramické destičky, při které vzniká elektrický náboj. Velikost tohoto náboje je přímo úměrná velikosti deformace. Destička je umístěna mezi hmotnými tělesy. Aby mohlo docházet k deformaci piezoelektrického článku, je jedno hmotné těleso pevně spojeno s pouzdem akcelerometru a druhé je uloženo pružně (za pružinu je považován předepjatý šroub spolu s destičkou).

Pokud kmitá měřený stroj, kmitá také hmotné těleso, které je pevně spojeno s pouzdem snímače. Druhé hmotné těleso zůstává v klidném stavu. Takto vzniká síla, která deformuje piezoelektrickou destičku a vzniká tak elektrický náboj. Ten je přímo úměrný velikosti zrychlení měřeného zařízení. S rostoucí hmotností snímače se zvyšuje citlivost a snižuje rezonanční frekvence. Akcelerometry se vyrábějí ve třech provedeních – tlakový, smykový a ohybový. Výhody a nevýhody viz (obr. 4).

Typ akcelerometru	výhody	nevýhody
smykový 	široký frekvenční rozsah relativně odolný nízký teplotní vliv	menší citlivost
tlakový 	široký frekvenční rozsah odolný na rázy	náchylný na teplotní vlivy náchylný na deformaci základny
ohybový 	měří velmi nízké frekvence má velmi vysokou citlivost	křehký, citlivý na rázy

Obr. 4 - Typy akcelerometrů

Jelikož akcelerometry neobsahují žádné pohyblivé části, jsou trvanlivé, spolehlivé a nevyžadují častou kalibraci. Instalace těchto snímačů na zařízení je snadná a spolehlivá. Výhodou je použití v širokém rozsahu frekvencí (od 1 Hz do 30 kHz).

Díky využití systému hmota/pružina je snímač dostatečně tuhý na to, aby byl na stroj umístěn v jakékoliv poloze. Piezoelektrický prvek by však neměl být dle [6] namáhán ničím jiným než vibracemi zařízení, proto je důležité hladké a ploché upevnění snímače, aby nedocházelo k deformacím samotné základny snímače.

Velmi důležitým prvkem měření je proto také připevnění snímače na měřené zařízení. Nevhodným připevněním můžeme zcela znehodnotit naměřená data a tím i celkový výsledek měření. Způsoby připevnění uvádí norma ČSN ISO 5348, která uvádí tyto možnosti upevnění:

- **šroubem:** Nejspolehlivější uchycení. Nutnost očištěných ploch pod základnou snímače. Díra pro šroub musí být kolmá měřenému povrchu.
- **lepidlem:** Nutnost vhodně upravené stykové plochy (čistá, zdrsňená) a použití správného lepidla. Aby nedošlo při odlepování k poškození snímače, lepí se na měřená zařízení podložky se závitem pro šroub snímače. Také je potřeba dodržovat provozní teplotu, aby nedocházelo k měknutí lepidla.
- **oboustrannou lepící páskou:** Rychlý, ale málo spolehlivý způsob. Téměř nepoužívaný.
- **magnetem:** Hojně využívaný a snadný způsob. Zpravidla jen pro běžná provozní měření do rozsahu cca 2 kHz. Nutnost čisté dosedací plochy (čistá, bez barvy a okují, rovná,...). Na magnety jsou zde použity vzácné materiály, které jsou silnější než klasické magnety.
- **včelím voskem:** Rychlý způsob upevnění, který se v diagnostice nepoužívá. Uplatnění nachází spíše v laboratorním použití. Použitelný pouze do teploty cca 40°C.
- **doteková jehla:** Pouze pro orientační měření cca do 1 kHz.

3. Získání, zpracování a vyhodnocení naměřených dat

Tab. 1 – Seznam strojů na dílnách SŠPU

Číslo soustruhu v této práci	Název stroje	Popis měření
1	SV18R	Změřeno dvě měření
2	SN20A1000	Změřeno jedno měření
3	SN400	Nezměřeno Neodkrytováno
4	SN20A1000	Změřeno jedno měření
5	SUI50	Nezměřeno Neodkrytováno
6	SV18R	Změřeno jedno měření

První měření bylo provedeno 7. 10. 2014. Sloužilo k seznámení s vibračním analyzátozem, metodami měření a umístěním sond na měřené zařízení. Bylo provedeno pod dohledem vedoucího bakalářské práce na zařízení č. 1 – Soustruhu SV18R. Druhé měření bylo provedeno 5. 5. 2015 samostatně.

Měření bylo zajištěno pomocí vibračního analyzátoru a jeho příslušenství (obr. 5). Technické parametry viz (tab. 2).



Obr. 5 - Analyzátor Adash A 4400 VA4 Pro včetně příslušenství a vyhodnocovacího softwaru DDS2011 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Tab. 2 – Parametry analyzátoru Adash A 4400 VA4

Vstupní kanály:	- 4 AC, ICP napájení (0/1) - 4 DC pro procesní veličiny - 1 TACHO pro externí spouštění
Výstupní rozsah:	- AC +/- 12 V špička – špička - DC +/- 24 V
AD převodník:	- 24 bitů, 64 bitů zpracování signálu nevyžaduje AutoGain
Dynamický rozsah S/N:	- 120 dB
Frekvenční rozsah:	- max. 90 kHz (1 Ch, 196 kHz vzorkování) - max. 25 kHz (4 Ch, 64 kHz vzorkování) - max. 25 Hz (4 Ch, 64 Hz vzorkování)
Způsob vzorkování:	- Plně synchronní pro 4 kanály
Rozlišení FFT:	- min. 100 čar - max. 3 276 800 čar
Módy měření:	- Analyzátor – analytická měření - Sběrač dat – měření pochůzky - Vyvažování – provozní vyvažování strojů - Rozběhy / Doběhy - Rekordér – nahrávání signálu - Stetoskop – poslech vibračního signálu - FASIT – expertní systém pro detekci poruch - Oktávová analýza – akustická měření - Rázový test – Bump Test
Procesor:	- Intel Atom 1,6 GHz
Paměť, pochůzka:	- 120 GB, max. 4 GB pro jednu pochůzku, počet pochůzek je limitován pouze volnou pamětí
Zpracování dat:	- FFT v reálném čase - DEMOD – ENVELOPE analýza - ACMT – analýza pomaloběžných ložisek - řadová analýza - uživatelská definice pásem - měření RPM - měření DC (procesních veličin) - měření orbit
Rekordér signálu:	- vzorkovací frekvence 64 kHz - 4 Ch – spotřeba paměti 3 GB/hod - 4 Ch celková doba nahrávání – 35 hodin
Trigger (spouštění):	- manuální, externí, úrovní signálu, časem - spouštění záznamu (rekordu) - změnou otáček, časovým intervalem
Displej:	- barevný 800 x 600 bodů, LCD
Rozhraní:	- USB
Provozní teplota:	- od -10 °C do +50 °C
Napájení:	- bateriově – 5 hodin provozu, AC 230 V
Pouzdro:	- hliníkové (odolné)
Rozměry a váha:	- 230 x 140 x 60 mm - 2200 g

3.1 Měření a vyhodnocení vibrodiagnostiky

Všechny hodnoty získané z měřících míst L1, L2 a L3 na uvedených strojích jsou barevně rozlišeny podle tabulky pro efektivní rychlosti vibrací (obr. 6). Jelikož je výkon všech měřených zařízení menší než 15 KW, spadají do třídy I. Měření probíhalo na motorech, převodových ústrojích a na uložení vřetene. Bohužel nastaly případy, kdy z různých důvodů nebylo možné měřit. Tyto situace jsou uvedeny a popsány v jednotlivých kapitolách o měření.

Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]	Třída I Malé stroje do 15KW	Třída II Středně velké stroje 15-75KW	Třída II Velké stroje na pevných základech > 75KW	Třída IV Velké stroje na měkkých základech > 75KW
0,28				
0,45				
0,71				
1,12				
1,8				
2,8				
4,5				
7,1				
11,2				
18				
28				
45				

A	Stav nového stroje.
B	Přípustný je krátkodobý provoz stroje, z pravidla jen do doby nejbližší možné opravy.
C	Stav je neuspokojivý, hrozí poškození stroje.

Obr. 6 - Alarmující hodnoty rychlosti vibrací pro rotační stroje

Tab. 3 – Alarmující hodnoty vibračního zrychlení

Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]	Stav stroje	Barevné rozlišení
0 – 1,5	Stav nového stroje	A
1,6 - 2,4	Přípustný je krátkodobý provoz	B
2,5 - více	Stav je neuspokojivý, hrozí poškození stroje	C

Hodnoty získané na měřících místech L4 a L5 jsou vyhodnoceny individuálně, jelikož spadají pod normu ČSN 20 0065 (tab. 4), která uvádí mezní hodnoty kmitání pro stroje o největším oběžném průměru D (nad supportem).

Tab. 4 – Výňatek z normy ČSN 20 0065 o obráběcích strojích.

Oběžný průměr D [mm]		do 200	nad 200 do 800	nad 800
Mezní hodnoty	v_e [mm/s]	1,12	1,8	2,8
	s_e [μm]	10	16	25

3.1.1 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 1 – SV18R

Soustruh SV18R (obr. 7), uvedený v této bakalářské práci, je stroj československé výroby, který byl vyroben v roce 1954 ve společnosti TOS Kuřim. Parametry a jiné informace viz (tab. 5). Tento soustruh byl měřen na motoru, převodovce a v místě uložení vřetene. Všechny měřicí místa byly dobře přístupné a nevyskytoval se zde žádný problém s měřením.



Obr. 7 - Pohled na stroj z přední strany

Tab. 5 – Parametry soustruhu SV18R

Strojní zařízení	
Název	SV18R
Rok výroby	1954
Výrobce	TOS Kuřim
Vzdálenost hrotů	950 mm
Oběžný průměr nad ložem	380 mm
Váha	1730 kg
Vrtání vřetene	40 mm
Kužel vřetene	Metrický 50
Otáčky	14 – 2800 ot/min
Elektromotor	
Název	MRZ 5b2
Provedení	Asynchronní
Výkon	6 KW
Otáčky	2800 ot/min

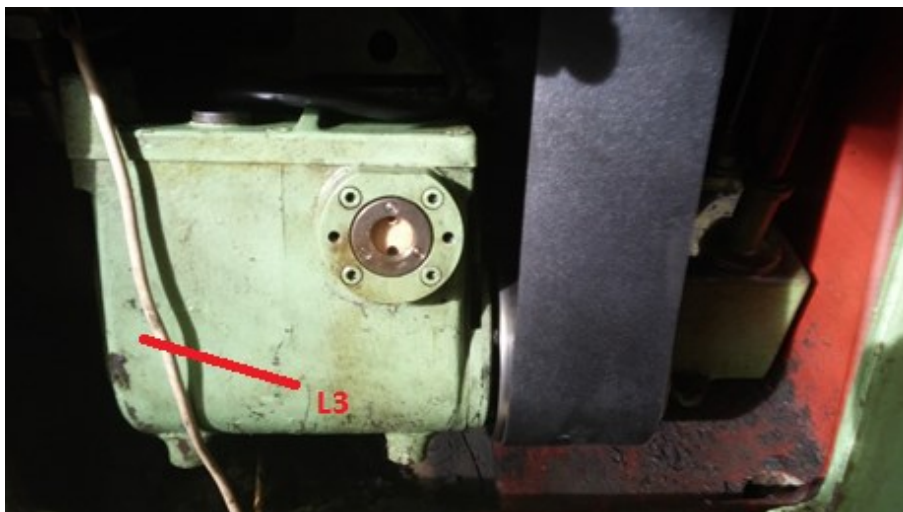
Prvním krokem bylo snímání elektromotoru (obr. 8), který byl po demontování ochranného krytu dobře přístupný. Akcelerometry analyzátoru byly umístěny ve třech hlavních osách (vertikální, horizontální a axiální) na měřicí místa L1 (levé ložisko elektromotoru) a L2 (pravé ložisko elektromotoru). Nebyl zde použit laserový snímač otáček, jelikož přes zakrytování nebylo možné snímač umístit a zároveň nebylo možné umístit reflexní nálepku, kterou laser snímá. Proto byly při vyhodnocení použity parametry motoru uvedené na výrobním štítku. Bylo provedeno pouze jedno měření, jelikož otáčky elektromotoru se oproti výstupním otáčkám převodovky nemění.



Obr. 8 - Snímání vibrací na elektromotoru

Dalším měřicím místem byla převodová skříň (obr. 9), kde se již měřilo na všech převodových stupních při nastavení předlohy na poměr 1/1. Přebodová skříň byla také dobře přístupná a měření probíhalo bez problémů. Akcelerometry analyzátoru byly také umístěny ve třech hlavních osách (vertikální, horizontální a axiální) na měřicí místo L3. Zde již byl použit laserový snímač otáček a reflexní nálepka byla umístěna na sklíčidle (obr. 11).

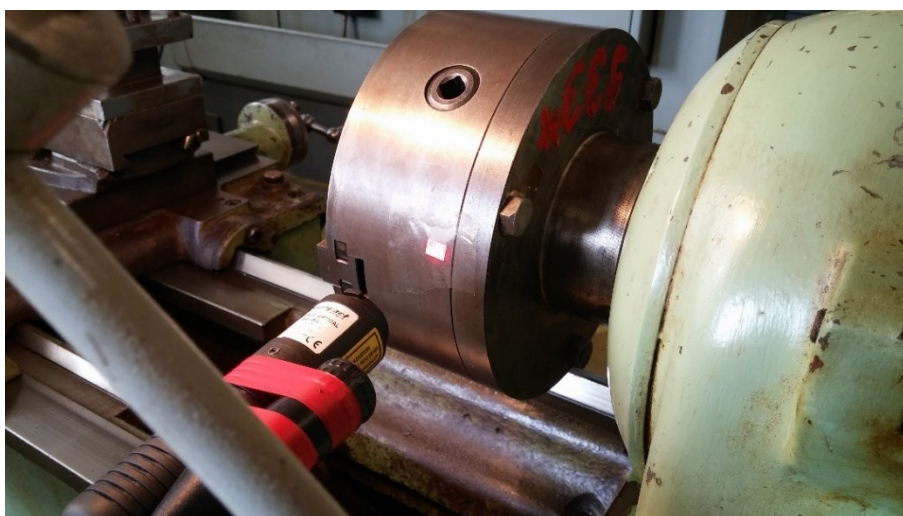
Posledním měřicím místem bylo uložení vřetene (obr. 10). Zde se měření provádělo při nejvyšších otáčkách. Opět byly akcelerometry umístěny ve třech hlavních osách (vertikální, horizontální a axiální). Použit zde byl také údaj o velikosti otáček z laserového snímače otáček (obr. 11).



Obr. 9 - Převodové ústrojí



Obr. 10 - Pohled na měřicí místa L4 a L5, uložení vřetene



Obr. 11 - Umístění laserového snímače otáček a reflexní nálepky na sklíčidle

Po naměření dat vibračním analyzátozem byly hodnoty prvního měření zpracovány a zapsány do tabulky (tab. 6). Hodnoty z druhého měření jsou zpracovány a zapsány do tabulky (tab. 7). Hodnoty z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot (obr. 6). Z měřících míst L4 a L5 jsou hodnoty barevně rozlišeny podle normy ČSN 20 0065 (tab. 4).

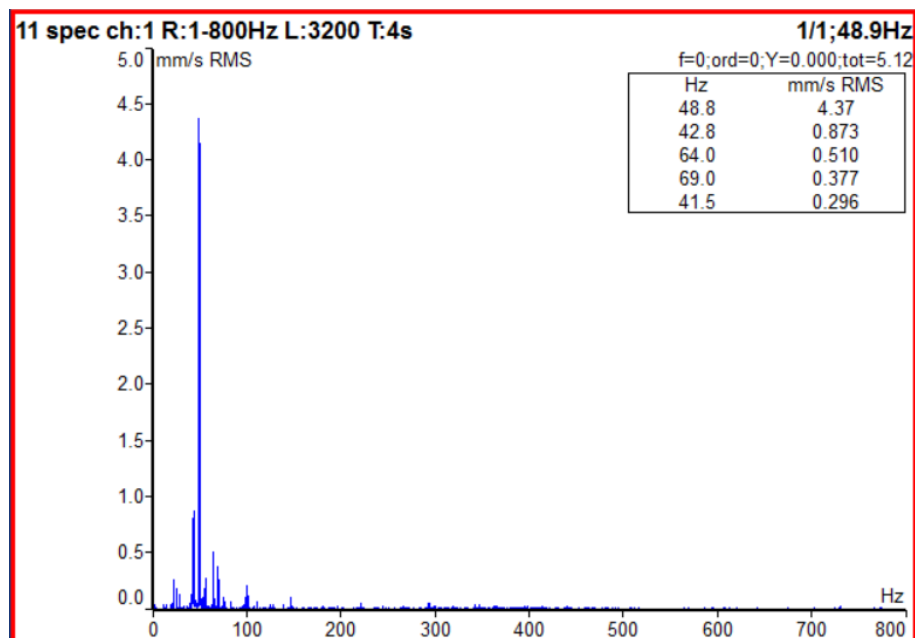
1. Měření na stroji č. 1 – 7. 10. 2014

Tab. 6 – Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 1 před výměnou řemene

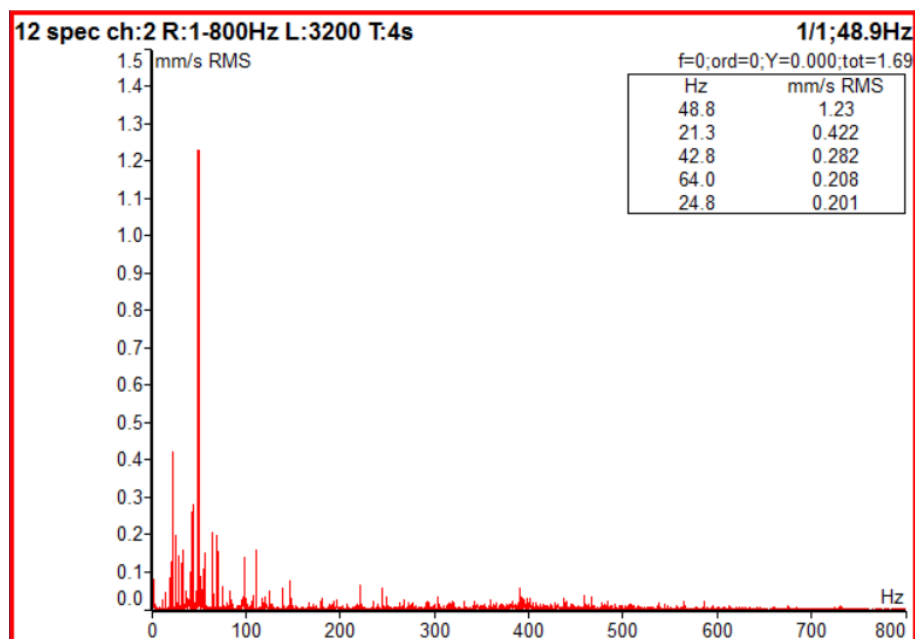
Tabulka efektivních hodnot rychlostí vibrací v pásmu 1-1000 Hz (V_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25600 Hz (a_{RMS})									
Stroj č. 1 - SV18R - (Měření 1)									
Měřící místo, otáčky		L1 2800	L2 2800	L3 450	L3 560	L3 710	L3 900	L3 1120	L3 1400
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	H	5,4	2,5	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1
	V	2,6	1,4	0,8	0,8	0,9	0,7	0,7	0,7
	A	1,8	3,5	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3
a_{RMS} [g]	H	2	1,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9
	V	2	1,8	1	1,2	1,4	1,2	1,4	2,2
	A	1,8	1	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9
Měřící místo, otáčky		L3 1800	L3 2240	L3 2800	L4 2800	L5 2800			
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	H	1,2	1,5	1,2	1,2	0,8			
	V	0,9	1,4	2,1	1,5	0,9			
	A	1,5	1,6	1,6	1,3	1,4			
a_{RMS} [g]	H	1,2	2,3	3,5	2,4	1			
	V	3	8,2	10	2,5	1,3			
	A	1,3	2,3	3,1	3,4	1,5			

Z tabulky naměřených hodnot (tab. 6) lze vyčíst, že v měřícím místě L1 odchylka v horizontálním směru překročila povolenou toleranci, proto při dalším používání hrozí poškození stroje. Jelikož jsou hodnoty zrychlení v kategorii B, je ložisko v tomto místě opotřebované, ale zatím není za hranicí své životnosti. Jelikož je hodnota, která překračuje povolenou toleranci, v rychlostech vibrací, jedná se zde o mechanický problém, který je popsán dále.

Z vysokých hodnot vibračního zrychlení v místech L3 a L4 je patrné, že ložiska v těchto místech jsou za hranici své životnosti a pro další bezpečný provoz stroje bude zapotřebí je demontovat a opravit či vyměnit.



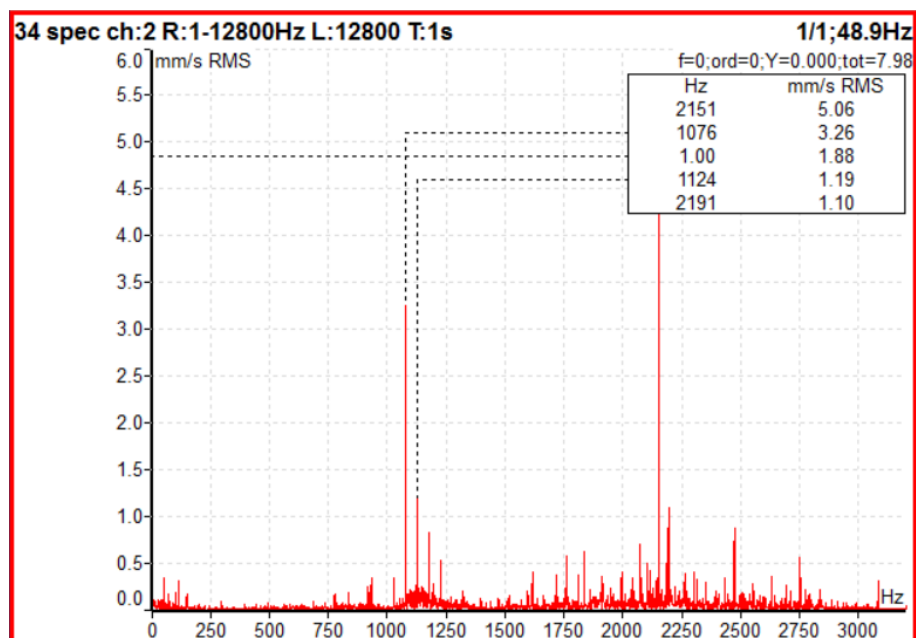
Obr. 12 - Spektrum rychlosti vibrací místa L1 (2800 ot/min), horizontální směr



Obr. 13 - Spektrum rychlosti vibrací místa L1 (2800 ot/min), vertikální směr

Z laserového snímače otáček vychází pro místo L1 2931 ot/min, což znamená, že rotorová frekvence elektromotoru je 48,8 Hz. Ze spektrální analýzy rychlosti vibrací (obr. 12 a obr. 13) lze usoudit, že vysoký peak o velikosti 1,23 mm/s na rotorové frekvenci signalizuje nevývahu na rotoru elektromotoru. Dále také menší peak

o velikosti 0,21 mm/s na frekvenci 100 Hz značí, že dochází k malé nesymetrii magnetického pole elektromotoru.



Obr. 14 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (2800 ot/min), vertikální směr

Z vibračního spektra (obr. 14) jsem zjistil poruchu na zubové frekvenci, která značí, že některé soukolí v převodovém ústrojí má již opotřebované zuby. Jelikož jsou hodnoty rychlostí vibrací vysoké, bude zapotřebí, pro další bezpečný provoz stroje, demontovat převodové ústrojí a nechat jej odborně opravit. Vysoký peak na hodnotě 1 Hz značí nedostatečné upevnění stroje k zemi nebo převodového ústrojí k rámu.

Měření č. 2 – 5. 5. 2015



Obr. 15 - Pohled na nový řemen u stroje č. 1 – SV18R

Toto měření bylo provedeno po výměně hnacího řemene, který přenáší výkon z převodového ústrojí na vřeteno (obr. 15).

Z tohoto měření jsem zjistil, jak je také patrné z tabulky naměřených hodnot (tab. 7), že při výměně pravděpodobně došlo k přepnutí řemene, které výrazně zvýšilo naměřené hodnoty, a tím i zviditelnilo rozsah poškozených či opotřebovaných součástí stroje.

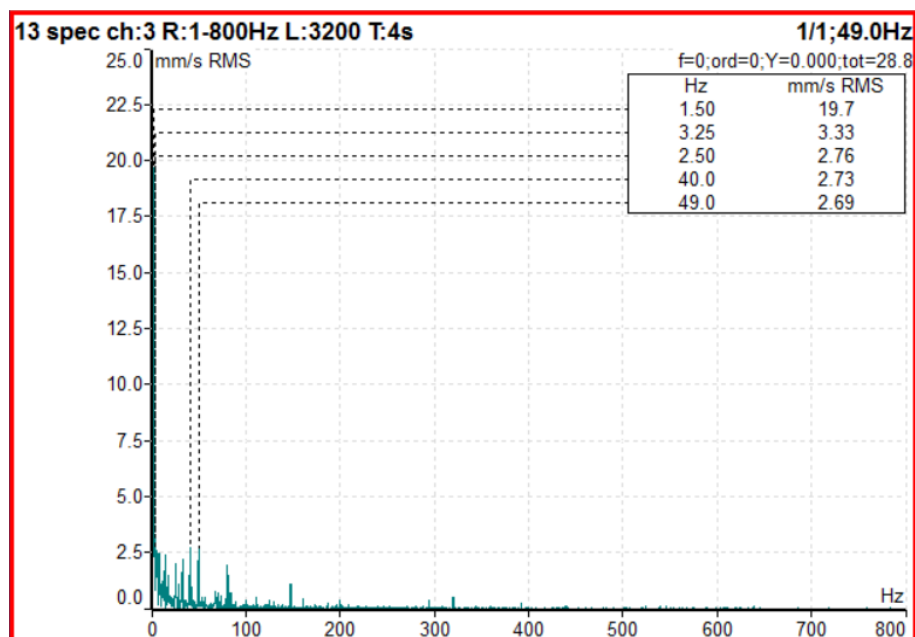
Tab. 7 – Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 1 po výměně řemene

Tabulka efektivních hodnot rychlostí vibrací v pásmu 1-1000 Hz (V_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25600 Hz (a_{RMS})									
Stroj č. 1 – SV18R - (Měření 2)									
Měřicí místo, otáčky		L1 2800	L2 2800	L3 450	L3 560	L3 710	L3 900	L3 1120	L3 1400
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	H	8,5	3,7	3,5	2	2,1	2,3	2,1	2,1
	V	4,7	2,5	3,8	1,1	1	1,1	1,3	1,3
	A	2,4	2,1	2,9	1,7	2,3	3	2,8	6,3
a_{RMS} [g]	H	0,1	0,1	1,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
	V	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,9
	A	0,3	0,4	0,6	0,5	0,6	0,8	0,8	1,3
Měřicí místo, otáčky		L3 1800	L3 2240	L3 2800	L4 2800	L5 2800			
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	H	2,4	2,9	2,9	1,1	0,6			
	V	2,4	8,9	15	0,4	0,4			
	A	11,1	12	27,2	3	3			
a_{RMS} [g]	H	0,6	0,8	1,1	0,1	0,2			
	V	1,3	2,4	3,7	0,4	0,3			
	A	1,6	2,6	3,7	0,5	0,4			

Z tabulky naměřených hodnot (tab. 7) vidíme, že po výměně řemene se téměř všechny hodnoty přesunuly o jednu kategorii výše. Na tomto stroji, díky nízkým hodnotám vibračního zrychlení, jsou v místech L1, L2, L4 a L5 ložiska v pořádku.

V místě L3 při vyšších otáčkách hodnoty překračují toleranci, spadají proto do kategorie C. Pro další bezpečný provoz stroje bude zapotřebí ložiska demontovat a opravit či nahradit novými.

Při hledání mechanických problémů z vibračních spekter, na které odkazují vysoké hodnoty vibračních rychlostí, jsem po kontrole zjistil stejné poruchy jako u měření č. 1, které je popsáno výše.



Obr. 16 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (2800 ot/min), axiální směr

Také v tomto spektru (obr. 16) z místa L3 při 2800 ot/min lze vidět, že se jedná o nevývahu na některé hřídeli v převodovém ústrojí. Vysoké peaky v nízkých frekvencích značí nedostatečné upevnění stoje k zemi nebo převodového ústrojí k rámu. Při měření bylo pouhým okem vidět, že při vysokých otáčkách převodové ústrojí značně vibruje.

3.1.2 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 2 – SN20A1000

Soustruh SN20A1000 (obr. 17), uvedený v této bakalářské práci, je stroj československé výroby, který byl vyroben v roce 1957 ve společnosti TOS Kuřim. Parametry a jiné informace viz (tab. 8). Tento soustruh byl měřen na motoru, převodovce a v místě uložení vřetene. Všechny měřicí místa byly dobře přístupné a nevyskytoval se zde žádný problém s měřením. Jedinou maličkostí, která ztěžovala měření na tomto zařízení, byla nutnost vypnutí motoru hlavním vypínačem při řazení 635 a 1000 ot/min. Dokud byl motor v chodu, nebylo možné tyto rychlosti zařadit.



Obr. 17 - Pohled na zařízení č. 2, SN20A1000

Tab. 8 – Parametry soustruhu SN20A1000

Strojní zařízení	
Název	SN20A1000
Rok výroby	1957
Výrobce	TOS Kuřim
Vzdálenost hrotů	1000 mm
Oběžný průměr nad ložem	400 mm
Váha	1730 kg
Vrtání vřetene	41 mm
Otáčky	32 – 1000 ot/min
Elektromotor	
Název	R45n
Provedení	Asynchronní
Výkon	3 KW
Otáčky	2850 ot/min

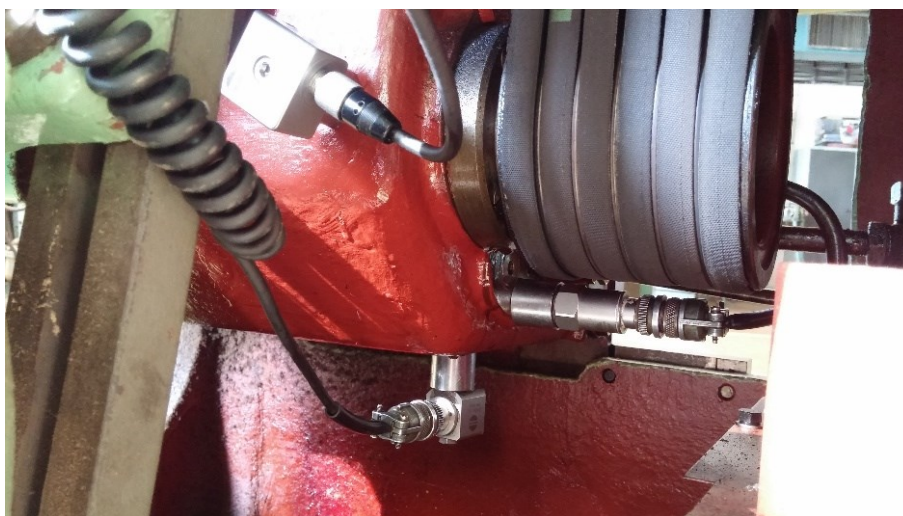
Tento soustruh má elektromotor upevněný na vnější straně stroje (obr. 18) na rámu. Při spuštění klasického soustruhu hlavním vypínačem se pouze zapne přívod elektrického proudu do zařízení, ale při spuštění tohoto soustruhu hlavním vypínačem se ihned zapne elektromotor, který se točí po celou dobu běhu zařízení. Během měření elektromotoru tudíž nebylo v provozu nic jiného.

Byly zde umístěny akcelerometry ve třech hlavních osách (vertikální, horizontální a axiální) na měřicí místa L1 a L2. Díky umístění elektromotoru vně stroje byl přístup bezproblémový a měření proběhlo bez jediného problému. Kvůli zakrytování motoru nebyl použit snímač rychlosti otáček. Při vyhodnocení byly proto použity údaje a parametry z výrobního štítku elektromotoru.



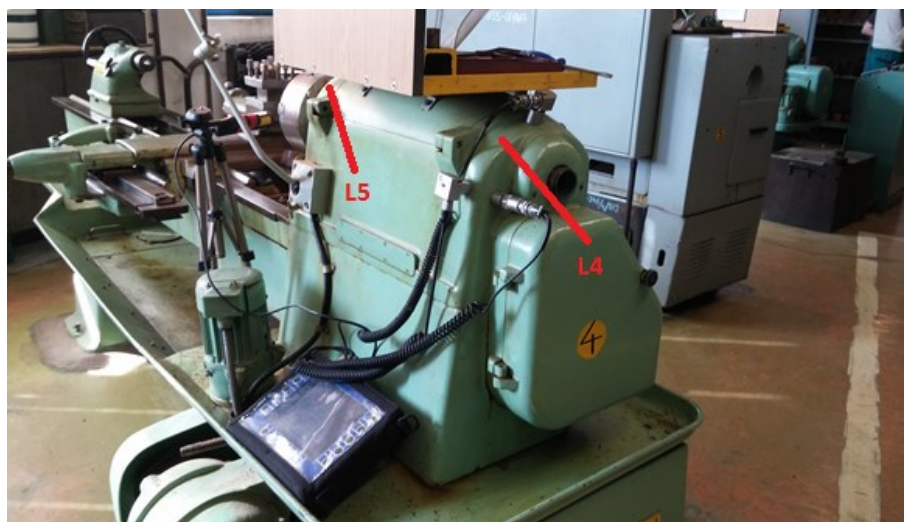
Obr. 18 - Pohled na elektromotor umístěný na vnější straně stroje (na rámu)

Po demontování ochranného krytu mezi elektromotorem a rámem stroje jsem se dostal k převodovému ústrojí. Během jeho měření (obr. 19) byly akcelerometry opět umístěny ve třech hlavních osách (vertikální, horizontální a axiální) na měřicí místo L3. Předloha byla při měření nastavená na poměr 1/1. Probíhalo tedy měření v rozmezí 250 – 1000 ot/min, kdy každý převodový stupeň byl měřen jednotlivě. Použit byl také laserový snímač otáček (obr. 11), jelikož jak již bylo řečeno, se díky stáří strojů nelze spoléhat na výrobní hodnoty. Na rozdíl od stroje č. 1 – SV18R, kde výkon na vřeteno přenášel jeden široký řemen, zde od převodového ústrojí přenáší výkon na vřeteno šest jednotlivých úzkých řemenů.



Obr. 19 - Umístění akcelerometrů do místa L3 na převodovém ústrojí

Poslední měření na tomto stroji probíhalo v místě uložení vřetene (obr. 20). Při měření uložení byly místa dobře přístupné, jelikož se jednalo o měření na vnější straně rámu stroje. Měřil jsem zde pouze při nejvyšších otáčkách (1000 ot/min). Akcelerometry byly opětovně umístěny ve třech hlavních osách (vertikální, horizontální a axiální) na měřicí místa L4 a L5. Byl také použit laserový snímač otáček (obr. 11), kde reflexní nálepka byla umístěna na sklíčidle stroje.



Obr. 20 - Měření uložení vřetene v místech L4 a L5

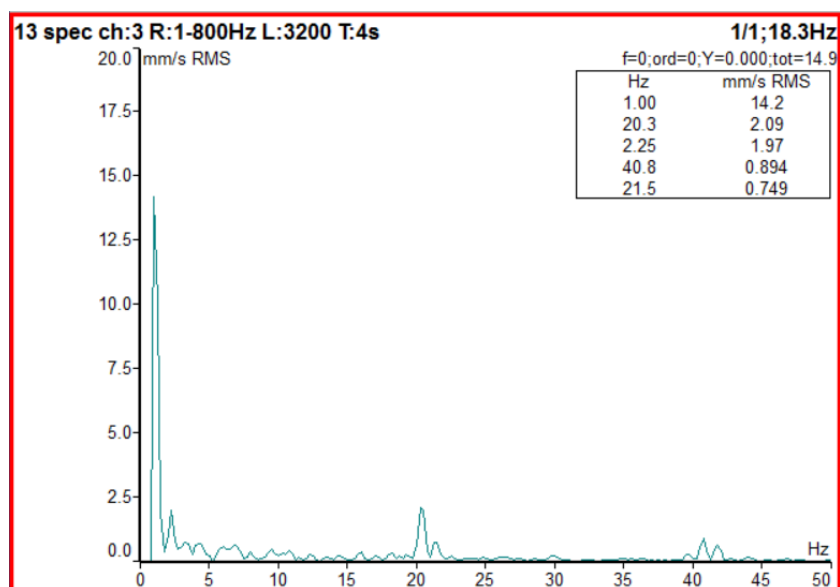
Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

Po naměření dat vibračním analyzátozem byly hodnoty zpracovány a zapsány do tabulky (tab. 9). Hodnoty z měřicích míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot (obr. 6). Z měřicích míst L4 a L5 jsou hodnoty barevně rozlišeny podle normy ČSN 20 0065 (tab. 4).

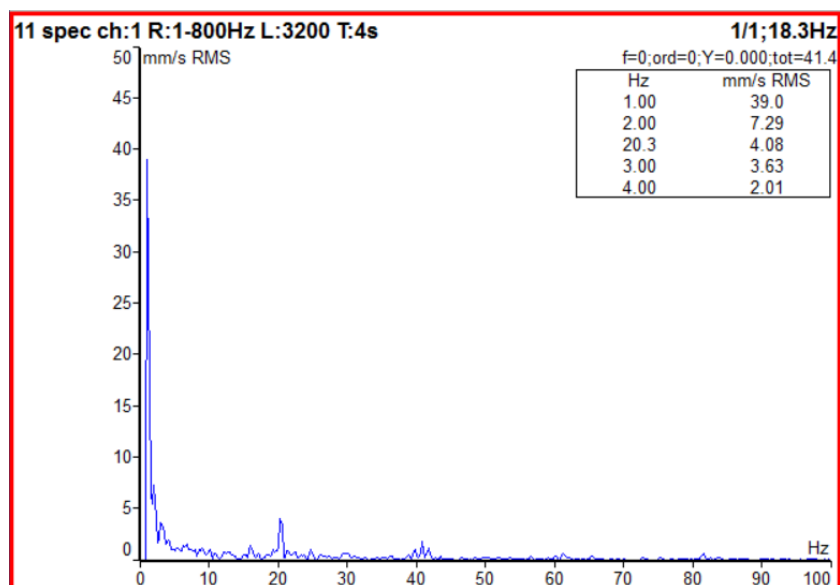
Tab. 9 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 2

Tabulka efektivních hodnot rychlostí vibrací v pásmu 1-1000 Hz (V_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25600 Hz (a_{RMS})									
Stroj č. 2 – SN20A1000									
Měřicí místo, otáčky		L1 2850	L2 2850	L3 250	L3 400	L3 635	L3 1000	L4 1000	L5 1000
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	H	4,4	5,9	1,1	1,1	1,6	1,5	0,8	0,7
	V	1,1	3,1	11,3	18,2	10,4	38,8	6,9	5,9
	A	2	2,2	1,7	4,3	1,9	15,9	11,8	3,8
a_{RMS} [g]	H	1,1	0,1	0,5	0,5	0,6	0,6	0,2	0,2
	V	1,1	0,2	0,6	0,7	0,7	0,7	1,3	1,3
	A	1,2	0,2	0,6	0,7	0,6	1,1	0,9	0,8

Jak lze vidět z tabulky naměřených hodnot (tab. 9), všechny měřené místa, kromě místa L1, jsou při dalším provozu pro zařízení nebezpečná. Díky nízkým hodnotám vibračního zrychlení lze tvrdit, že všechny ložiska na tomto stroji jsou v pořádku a jedná se zde o mechanický problém.



Obr. 21 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (1000 ot/min), axiální směr



Obr. 22 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (1000 ot/min), vertikální směr

Jak lze vidět ze spekter rychlostí vibrací (obr. 21 a obr. 22), vysoké hodnoty peaků se nacházejí v nízkých frekvencích, což odkazuje na nedostatečné upevnění stoje k zemi nebo převodového ústrojí k rámu. Tento problém se vyskytuje i ve spektrech z míst L4 a L5.

3.1.3 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 4 – SN20A1000

Soustruh SN20A1000 (obr. 23), uvedený v této bakalářské práci, je stroj československé výroby a je shodný se strojem č. 2. Parametry a jiné informace viz (tab. 8). Tento soustruh byl měřen na motoru, převodovce a v místě uložení vřetene. Všechny měřicí místa byly dobře přístupné a nevyskytoval se zde žádný problém s měřením.



Obr. 23 - Pohled na zařízení č. 4, SN20A1000

Jelikož je tento stroj shodný se strojem č. 2, nebude zde popsán postup měření a jeho fotodokumentace.

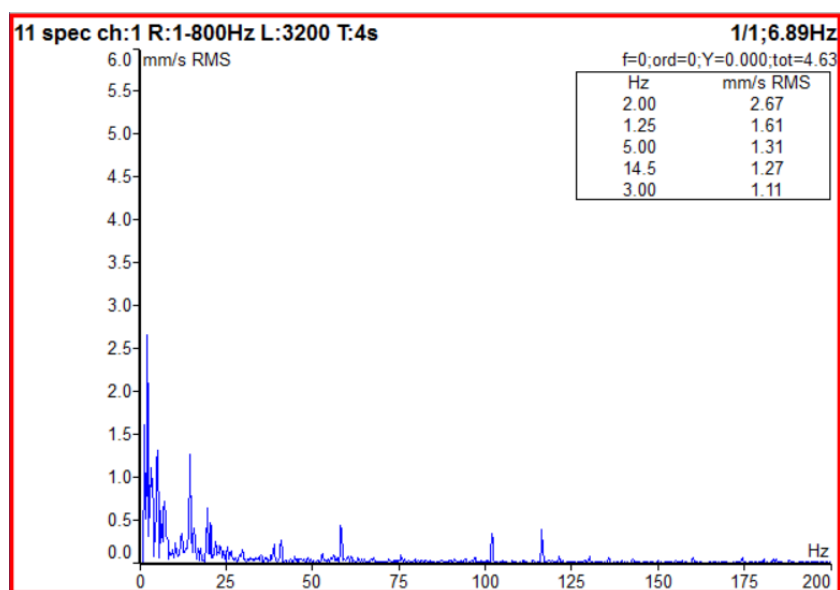
Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

Po naměření dat vibračním analyzátozem byly hodnoty zpracovány a zapsány do tabulky (tab. 10). Hodnoty z měřicích míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot (obr. 6). Z měřicích míst L4 a L5 jsou hodnoty barevně rozlišeny podle normy ČSN 20 0065 (tab. 4).

Tab. 10 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 4

Tabulka efektivních hodnot rychlostí vibrací v pásmu 1-1000 Hz (V_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25600 Hz (a_{RMS})									
Stroj č. 4 – SN20A1000									
Měřící místo, otáčky		L1 2850	L2 2850	L3 250	L3 400	L3 635	L3 1000	L4 1000	L5 1000
Veličina	Směr								
V_{RMS} [mm/s]	H	2,4	2,5	1,4	2,6	1,3	2	0,5	0,4
	V	1,5	0,8	2,1	5,2	1,7	3,9	1,3	0,9
	A	0,7	0,9	2	3,3	1,9	4,3	3,3	0,7
a_{RMS} [g]	H	0,1	0,1	0,7	1,3	0,6	1	0,2	0,2
	V	0,1	0,2	0,8	1	0,9	0,9	0,8	1
	A	0,2	0,2	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6	0,5

Z tabulky naměřených hodnot (tab. 10) lze vyčíst, že všechny hodnoty vibračního zrychlení jsou díky svým nízkým hodnotám v kategorii A. Všechny ložiska na tomto stroji jsou tudíž v pořádku. Jediná vysoká hodnota nad povolenou toleranci, která spadá do kategorie C, je hodnota ve vertikálním směru v místě L3 při 400 ot/min. Jelikož je tato hodnota v rychlostech vibrací, nachází se zde mechanický problém, který je níže popsán.



Obr. 24 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (400 ot/min), vertikální směr

Ve spektru rychlostí vibrací (obr. 24) lze vidět, že se vysoké peaky nacházejí v oblasti nízké frekvence a lze tedy usoudit, že se zde opět jedná o nedostatečné upevnění stroje k zemi nebo převodového ústrojí k rámu. Tyto vysoké peaky v nízkých frekvencích se nacházejí ve všech spektrech místa L3.

3.1.4 Měření a vyhodnocení soustruhu č. 6 – SV18R

Soustruh SV18R (obr. 25), uvedený v této bakalářské práci, je stroj československé výroby a je shodný se strojem č. 1. Parametry a jiné informace viz (tab. 5). Tento soustruh byl měřen na motoru, převodovce a v místě uložení vřetene. Všechny měřicí místa, kromě elektromotoru, byly dobře přístupné a nevyskytoval se zde žádný problém s měřením.



Obr. 25 - Pohled na zařízení č. 6, SV18R

Bohužel na tomto stroji byl elektromotor zakrytován krytem z nemagnetického materiálu, nebylo tudíž možné upevnit akcelerometry na jeho povrch. Tento stroj je shodný se strojem č. 1, proto zde nebude popsán postup měření a jeho fotodokumentace.

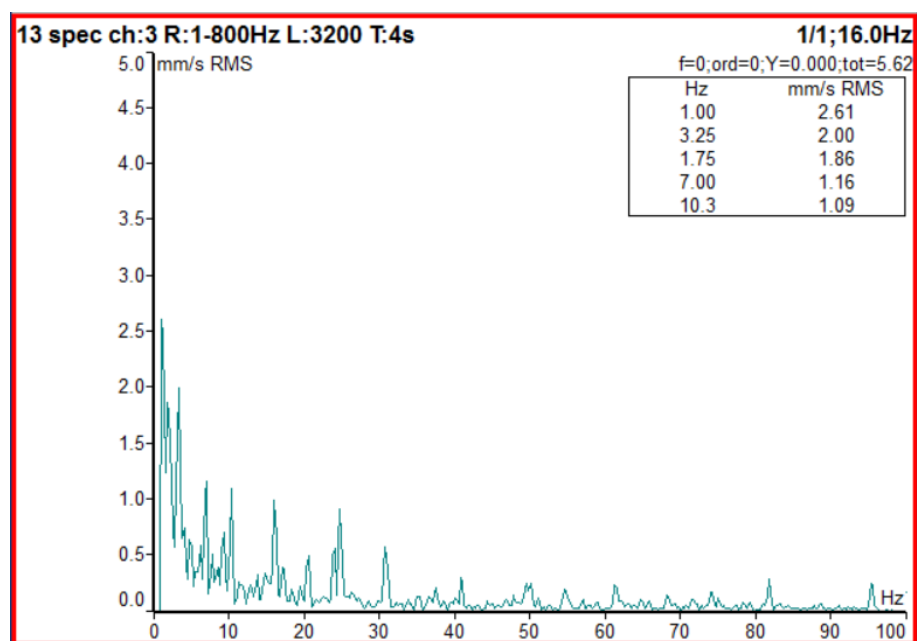
Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

Po naměření dat vibračním analyzátozem byly hodnoty zpracovány a zapsány do tabulky (tab. 11). Hodnoty z měřicích míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot (obr. 6). Z měřicích míst L4 a L5 jsou hodnoty barevně rozlišeny podle normy ČSN 20 0065 (tab. 4).

Tab. 11 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 6

Tabulka efektivních hodnot rychlostí vibrací v pásmu 1-1000 Hz (V_{RMS}) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500-25600 Hz (a_{RMS})								
Stroj č. 6 – SV18R								
Měřící místo, otáčky		L3 450	L3 560	L3 710	L3 900	L3 1120	L4 1120	L5 1120
Veličina	Směr							
V_{RMS} [mm/s]	H	3,1	3,8	4,8	6,3	8,9	0,6	0,5
	V	1,5	1,8	2,3	2,9	3,9	2,6	0,6
	A	5,7	3	2,8	5,9	4,4	16,7	2,8
a_{RMS} [g]	H	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1
	V	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,9	0,5
	A	0,6	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5

Z tabulky naměřených hodnot (tab. 11) vibračního zrychlení vidíme, díky nízkým hodnotám jejich zrychlení, že jsou ložiska ve všech měřených místech v pořádku. Jsou zde také hodnoty spadající do kategorie C, které jsou v oblasti rychlostí vibrací, a proto se na tomto stroji vyskytuje mechanický problém, které je popsán níže.

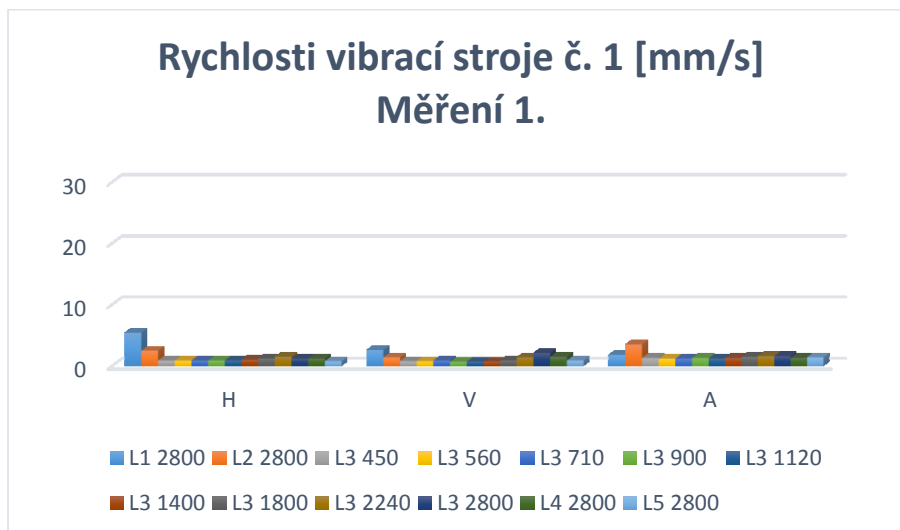


Obr. 26 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (900 ot/min), axiální směr

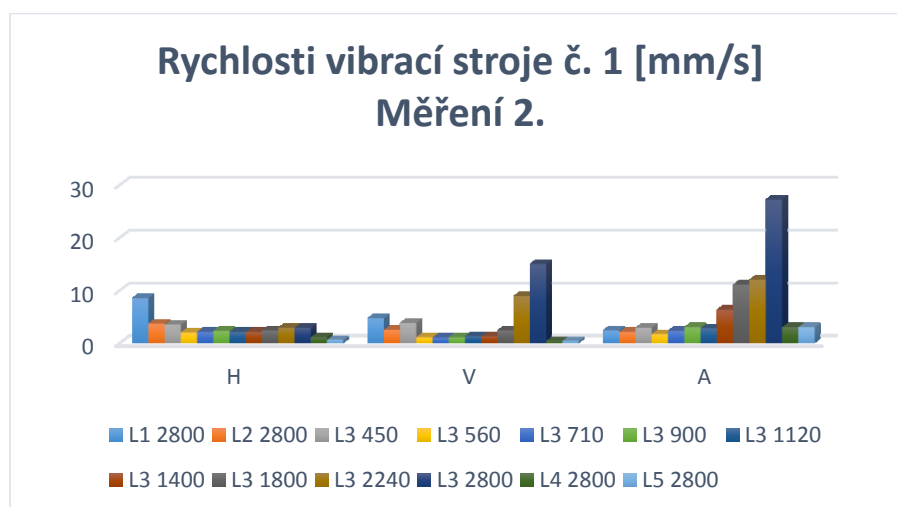
Ze spektra rychlosti vibrací (obr. 26) jsem vyhodnotil, že zde, jako u předchozích strojů, jde v oblasti nízkých frekvencí o nedostatečné upevnění stoje k zemi nebo převodového ústrojí k rámu. Dále se zde nachází peak na rotorové frekvenci, který značí určitou nevývahu na některém z hřídelů v převodovém ústrojí.

3.1.5 Grafické porovnání stroje č. 1

V této kapitole jsou graficky, pro lepší zviditelnění, navzájem porovnány naměřené hodnoty na stroji č. 1 před a po výměně řemene.

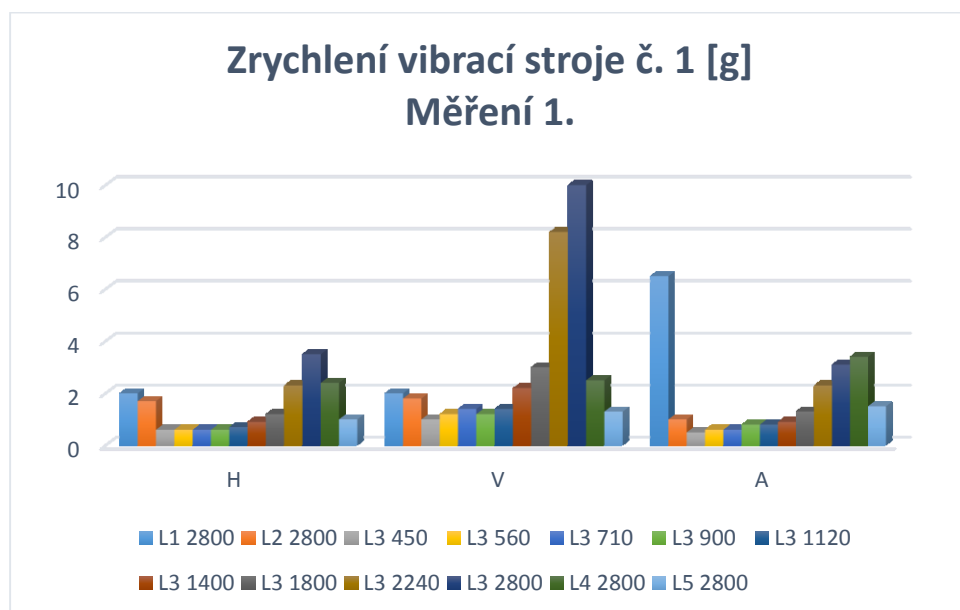


Obr. 27 - Grafické znázornění naměřených rychlostí vibrací před výměnou řemene

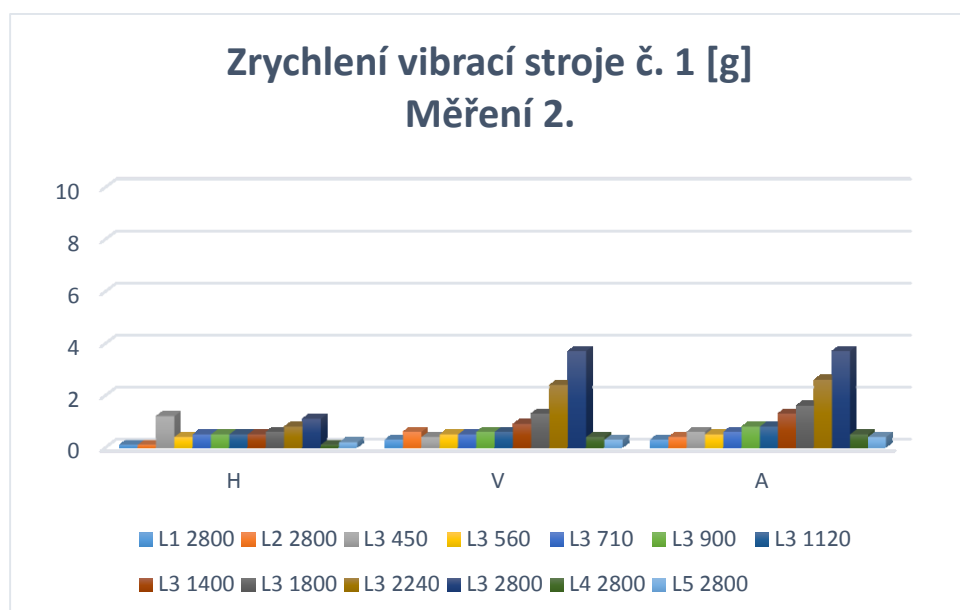


Obr. 28 - Grafické znázornění naměřených rychlostí vibrací po výměně řemene

Tyto grafy vizuálně ukazují na velké rozdíly v naměřených hodnotách. Hodnoty rychlostí vibrací (obr. 27 a obr. 28) narostly velkým skokem hlavně v místě L3 na převodovém ústrojí ve vysokých otáčkách. Naopak hodnoty vibračního zrychlení (obr. 29 a obr. 30) se snížily a poukázali tak, spíše než na poruchy ložisek, na mechanické problémy na daném stroji.



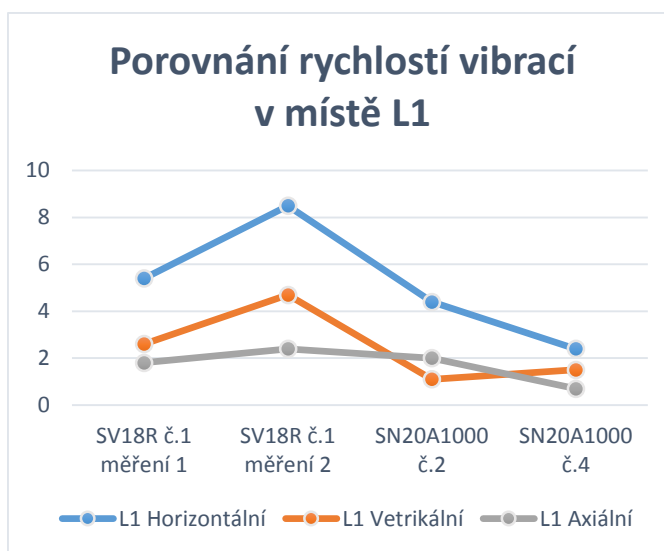
Obr. 29 - Grafické znázornění naměřených vibračních zrychlení před výměnou řemene



Obr. 30 - Grafické znázornění naměřených vibračních zrychlení po výměně řemene

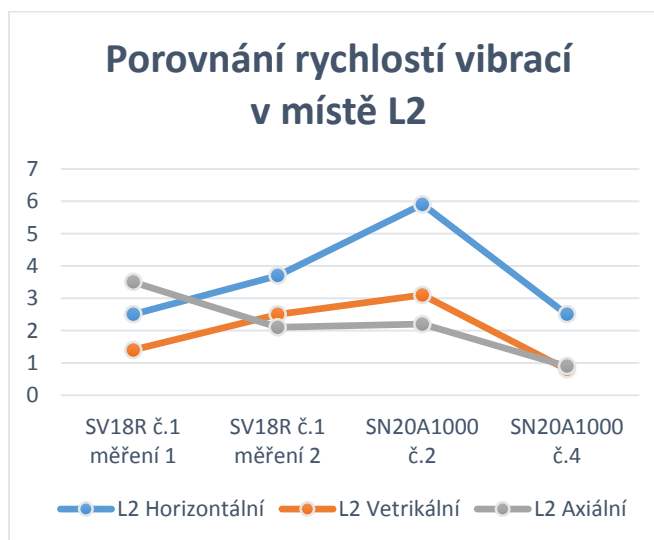
3.2 Porovnání trendů v jednotlivých místech

V této kapitole jsou porovnány v grafu vždy jen jedno místo, které se na jednotlivých zařízeních měřilo. Toto porovnání slouží k přehlednému zjištění velikostí efektivních rychlostí vibrací u každého měřeného stroje v daném místě.



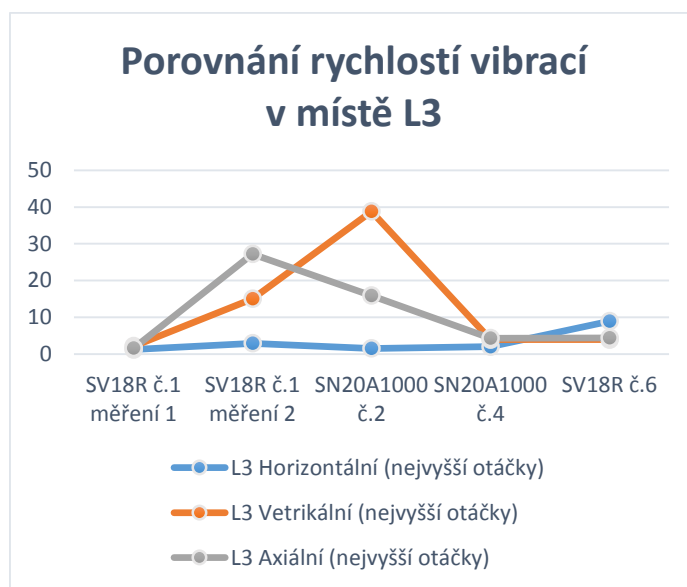
Obr. 31 - Grafické porovnání měřených míst L1

Z grafického porovnání pro místa L1 (obr. 31) lze vidět, že nejmenší hodnoty v horizontálním a axiálním směru má stroj č. 4. Nejvyšší hodnotu rychlosti vibrací ve vertikálním směru má stroj č. 2. Naopak nejvyšších hodnot, ve všech třech osách, dosáhl stroj č. 1 (po výměně řemene). Stroj č. 6 zde není porovnáván, jelikož v tomto místě nedošlo k jeho měření, viz kapitola 3.1.4.



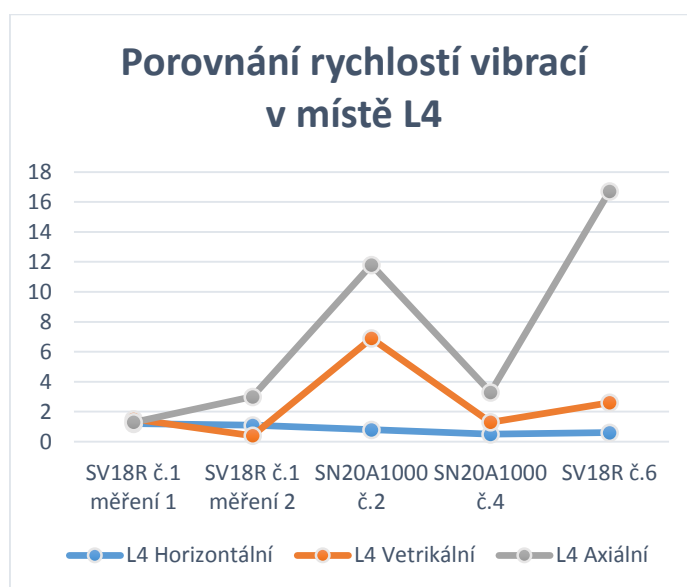
Obr. 32 - Grafické porovnání měřených míst L2

Z grafického porovnání pro místa L2 (obr. 32) lze vidět, že v horizontálním a vertikálním směru, dosáhl nevyšších hodnot stroj č. 2 a v axiálním směru stroj č. 1 (před výměnou řemene). S nejnižšími hodnotami se setkáváme u stroje č. 4, ve všech třech osách. Stroj č. 6 zde není porovnáván, jelikož v tomto místě nedošlo k jeho měření, viz kapitola 3.1.4.



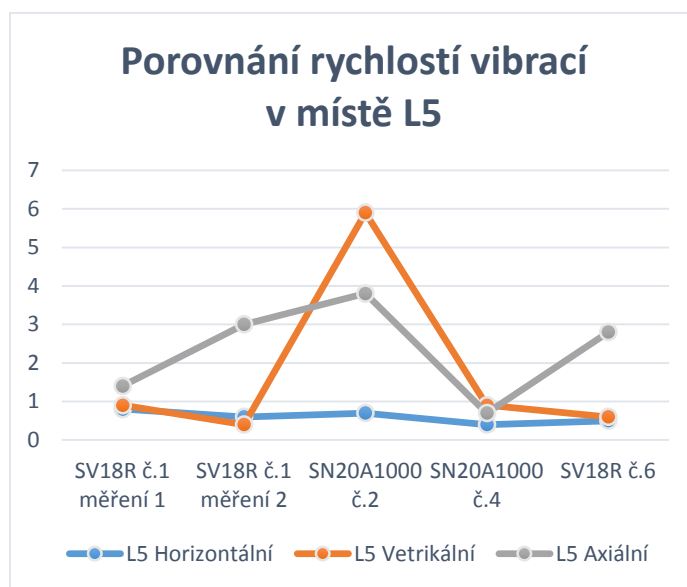
Obr. 33 - Grafické porovnání měřených míst L3 při nejvyšších otáčkách

Z grafického porovnání pro místa L3 (obr. 33), kde graf dosahuje vysokých hodnot, lze vyčíst, že nejvyšší hodnoty dosáhl ve vertikálním směru stroj č. 2, v axiálním směru stroj č. 1 (po výměně řemene) a v horizontálním směru stroj č. 6. Nejnižší hodnoty jsou u stroje č. 1 (před výměnou řemene).



Obr. 34 - Grafické porovnání měřených míst L4

Z grafického porovnání pro místa L4 (obr. 34) vyplývá, že nejvyšší hodnoty dosáhl v horizontálním směru stroj č. 1 (před výměnou řemene), ve vertikálním směru stroj č. 2 a v axiálním směru stroj č. 6. Nejnížší hodnoty lze nalézt v horizontálním směru u stroje č. 4, ve vertikálním směru u stroje č. 1 (po výměně řemene) a v axiálním směru u stroje č. 1 (před výměnou řemene).



Obr. 35 - Grafické porovnání měřených míst L4

Z grafického porovnání pro místa L5 (obr. 35) je patrné, že nejvyšší hodnoty dosáhl v horizontálním směru stroj č. 1 (před výměnou řemene) a ve vertikálním a axiálním směru stroj č. 2. Nejnížší hodnoty lze nalézt v horizontálním a axiálním směru u stroje č. 4 a ve vertikálním směru u stroje č. 1 (po výměně řemene).

4. Závěr

V této práci jsem vyhodnocoval stav měřených strojů a velikost jejich opotřebování. Až na popsané případy, kdy nebylo možné získat data na různých místech měřených zařízení, měření probíhalo hladce, rychle a bez úrazů či poškození měřicího zařízení. Přístup vedoucího dílen, který pro tuto práci umožnil měření, byl vstřícný a pokaždé se dalo domluvit vše, co bylo potřebné. Bohužel nebyla dostupná dokumentace k převodovému ústrojí, což znemožnilo vyhodnocení zubových soukolí, kvůli chybějícím počtu zubů. Nebylo tedy možné vypočítat zubové frekvence, na kterých se vyhodnocují poruchy soukolí.

Výsledkem je, že většina strojů má dobrý či uspokojivý stav ložisek. Pouze výjimečně se zde setkáváme s ložisky za hranicí své životnosti. Většina vysokých hodnot, které byly naměřeny, odkazuje na mechanické problémy na jednotlivých strojích. Nejčastějším mechanickým problémem bylo nedostatečné upevnění stroje k zemi nebo upevnění jeho součástí na rámu.

Lze proto říci, že po odstranění mechanických problémů na jednotlivých strojích, bude jejich další provoz, až na výjimky popsané ve vyhodnocení, bezpečný a bez nežádoucích poruch či havárií.

Z počátku bylo naplánované i tribologické vyhodnocení stavu strojů z odebraných vzorků mazacích náplní, ale po konzultaci s vedoucím dílen, na kterých bylo měření prováděno, bylo přihlédnuto k finanční náročnosti náhrady odebraných mazacích náplní a k odebrání vzorků nedošlo.

Reference

- [1] BLATA, Jan. *Technická diagnostika: Proč se zabývat diagnostikou?* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/17-Blata%20Jan_%C3%9Avod%2001.pdf
- [2] BLATA, Jan. *Technická Diagnostika: Vibrodiagnostika* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://interdiago.vsb.cz/kom/upload/17-Blata%20Jan_Vibrodiagnostika.pdf
- [3] KŘIVOHLAVÝ, Jan. *Technická diagnostika: Technická diagnostika* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://jan.krivohlavy.cz/Technicka+diagnostika>
- [4] KŘIVOHLAVÝ, Jan. *Technická diagnostika: Měření a analýza vibrací* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://jan.krivohlavy.cz/mereni-analyza-vibraci>
- [5] Tumlikovo: *Druhy soustruhů* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-soustruhu/>
- [6] BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. *APLIKOVANÝ MECHANIK JAKO SOUČÁST TÝMU KONSTRUKTÉRŮ A VÝVOJÁŘŮ: VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKA*. Ostrava, 2012. Studijní opora.
- [7] Seznam zařízení pro TD. *Seznam zařízení pro TD* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/kom/index.php?pageid=0&parent=5>

Seznam obrázků

Obr. 1 - Hlavní části univerzálního hrotového soustruhu	11
Obr. 2 - Vanová křivka	13
Obr. 3 - Graf mechanického kmitání	14
Obr. 4 - Typy akcelerometrů.....	16
Obr. 5 - Analyzátor Adash A 4400 VA4 Pro včetně příslušenství a vyhodnocovacího softwaru DDS2011	18
Obr. 6 - Alarmující hodnoty rychlosti vibrací pro rotační stroje.....	20
Obr. 7 - Pohled na stroj z přední strany.....	21
Obr. 8 - Snímání vibrací na elektromotoru.....	22
Obr. 9 - Převodové ústrojí	23
Obr. 10 - Pohled na měřicí místa L4 a L5, uložení vřetene	23
Obr. 11 - Umístění laserového snímače otáček a reflexní nálepky na sklíčidle.....	23
Obr. 12 - Spektrum rychlosti vibrací místa L1 (2800 ot/min), horizontální směr	25
Obr. 13 - Spektrum rychlosti vibrací místa L1 (2800 ot/min), vertikální směr	25
Obr. 14 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (2800 ot/min), vertikální směr	26
Obr. 15 - Pohled na nový řemen u stroje č. 1 – SV18R.....	26
Obr. 16 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (2800 ot/min), axiální směr	28
Obr. 17 - Pohled na zařízení č. 2, SN20A1000.....	29
Obr. 18 - Pohled na elektromotor umístěný na vnější straně stroje (na rámu)	30
Obr. 19 - Umístění akcelerometrů do místa L3 na převodovém ústrojí	30
Obr. 20 - Měření uložení vřetene v místech L4 a L5.....	31
Obr. 21 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (1000 ot/min), axiální směr	32
Obr. 22 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (1000 ot/min), vertikální směr	32
Obr. 23 - Pohled na zařízení č. 4, SN20A1000.....	33
Obr. 24 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (400 ot/min), vertikální směr	34
Obr. 25 - Pohled na zařízení č. 6, SV18R	35
Obr. 26 - Spektrum rychlosti vibrací místa L3 (900 ot/min), axiální směr	36
Obr. 27 - Grafické znázornění naměřených rychlostí vibrací před výměnou řemene	37
Obr. 28 - Grafické znázornění naměřených rychlostí vibrací po výměně řemene	37
Obr. 29 - Grafické znázornění naměřených vibračních zrychlení před výměnou řemene	38
Obr. 30 - Grafické znázornění naměřených vibračních zrychlení po výměně řemene	38
Obr. 31 - Grafické porovnání měřených míst L1	39
Obr. 32 - Grafické porovnání měřených míst L2.....	39
Obr. 33 - Grafické porovnání měřených míst L3 při nejvyšších otáčkách	40

Obr. 34 - Grafické porovnání měřených míst L4	40
Obr. 35 - Grafické porovnání měřených míst L4	41

Seznam tabulek

Tab. 1 - Seznam strojů na dílnách SŠPU	18
Tab. 2 - Parametry analyzátoru Adash A 4400 VA4	19
Tab. 3 - Alarmující hodnoty vibračního zrychlení	20
Tab. 4 - Výňatek z normy ČSN 20 0065 o obráběcích strojích.	20
Tab. 5 - Parametry soustruhu SV18R	21
Tab. 6 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 1 před výměnou řemene	24
Tab. 7 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 1 po výměně řemene	27
Tab. 8 - Parametry soustruhu SN20A1000.....	29
Tab. 9 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 2	35
Tab. 10 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 4	36
Tab. 11 - Vyhodnocení naměřených hodnot stroje č. 6	37